

方形導波管誘導性ポスト付き共振器の 粒子群最適化を用いた設計

仁平 岳志 松本 達真 平岡 隆晴 豊嶋 久道
神奈川大学工学部電気電子情報工学科

1 はじめに

方形導波管誘導性ポスト付き共振器は金属製の誘導性ポストと空洞共振器から構成される。構造形状を適切に設計することにより、共振器、フィルタ、分波器、合波器、減衰器及び方向性結合器など様々な機能性回路を実現することができる。また、誘導性のポストと空洞共振器の数を増やす事により急峻な減衰量をもつためマイクロ波帯回路の帯域通過フィルタや帯域阻止フィルタとして広く用いられる。

本研究では、設計要素の膨大な数の組合せから最適解、または準最適解を探索するために、寸法値の選択が可能である粒子群最適化アルゴリズムを用いた設計手法と、回路を直列型と折り曲げ型にして比較した計算結果について報告する。



(1) 窓付き共振器 (2) ポスト付き共振器
図1 折り曲げ構造

2 提案手法

回路の従来の設計法では回路寸法値を決定するものであるが、値によっては製造が困難となり実現可能な値に丸める必要がある。値を丸めることによって所望の特性が満たせなくなるので、人の手による細かな修正が必要となり、多大なコストがかかってしまう。本研究ではLC素子への置き換えや寸法値の丸めを排除するために、平面回路的取り扱いに直接粒子群最適化アルゴリズムを適用した。

3 フィルタ構造

図1に窓数3、柱数4での方形導波管金属ポスト付きフィルタの構造を示す。導波管中の金属ポストは上から下まで通す構造の誘導性柱（ポスト）とし、寸法はポスト幅 T 、窓幅 W 、間隔 L とした。寸法より平面回路理論に基づいて実行インピーダンス行列を導出し、電力透過係数の周波数特性を計算する。

このうち帯域通過フィルタでは通過域、阻止域での特

性より、次式の適応度関数によって評価する。

$$F = \frac{1}{1 + \bar{F}} \quad (1)$$

$$\bar{F} = \frac{1}{N_p} \sum_{k=1}^{N_p} S_i(f_k) + \frac{1}{N_s} \sum_{k=1}^{N_s} S_r(f_k) \quad (2)$$

N_p 通過域におけるサンプリング数
 N_s 阻止域におけるサンプリング数
 $S_i(f_k)$ 通過域における周波数 f_k での透過係数
 $S_r(f_k)$ 阻止域における周波数 f_k での透過係数

WRI100 規格の周波数帯域が 8.20[GHz]~12.50[GHz] より中心周波数 10[GHz]、比帯域幅 4[%]、遷移域 4[%]、阻止域 8.50[GHz]~9.40[GHz]、10.60[GHz]~11.50[GHz] と設定した。通過域の評価として、透過係数が比帯域幅 4[%] の 9.8[GHz]~10.2[GHz] で 0[dB] に近いと良い評価、阻止域の評価として、反射係数が阻止域上で 0[dB] に近いと良い評価、帯域幅の評価として、透過係数が比帯域幅 4[%] の 9.8[GHz]、10.2[GHz] で許容減衰量-0.1[dB] だと良い評価とした。

4 粒子群最適化 (PSO)

粒子群最適化 (Particle Swarm Optimization: PSO) は 1995 年に Kennedy と Eberhart によって提案された鳥や魚、昆虫の群れが集団で行う探索行動をモデル化したアルゴリズムである。多数の個体 (particle) によって集団を生成し、集団内の個体同士の情報交換によって探索を進める。

5 適応結果及び考察

5.1 設計条件

今回設計を行う方形導波管 (WRI - 100) は、導波管幅 22.86[mm]、高さ 10.16[mm] の寸法値を用いて設計した。所望特性としては、中心周波数 10[GHz] として比帯域幅、比阻止域幅を定め両者の間を遷移域とした。ここでは、比帯域幅と遷移域幅を変化させて計算し本設計手法の適応範囲を調査した。また、設計変数とする寸法値については実作時の寸法値の丸めを排除するために小数点第二位までの値に限定した。

5.1.1 適用する共振器の構造 1

図2で示す方形導波管の中に誘導性窓を3本、誘導性ポストを4本設置した構造の回路とした。対称構造とし、縦幅の距離 W_1, W_2 、横幅の距離 $L_1 \sim L_3$ 、ポスト幅 $T_1 \sim T_4$ を変数として設計を行った。広帯域特性と通過域と特性の結果を図3、図4に示す。

Design of rectangular waveguide inductive post resonators using particle swarm optimization
Gakushi Nihei, Tatsuma Matsumoto, Takaharu Hiraoka, Hisamichi Toyoshima (Department of Electrical, Electronics, and Information Engineering, KANAGAWA University)

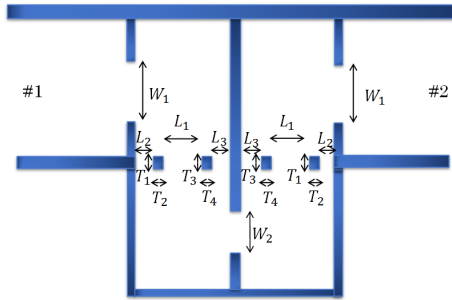


図2 折り曲げ構造 (窓数3, 柱数4)

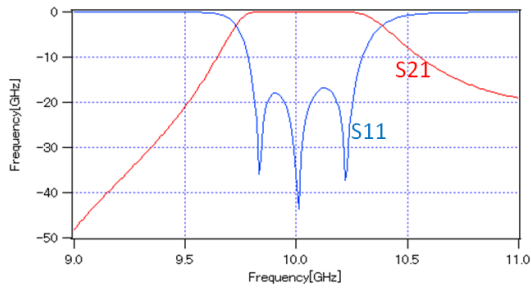


図3 広帯域特性 (折り曲げ窓数3, 柱数4)

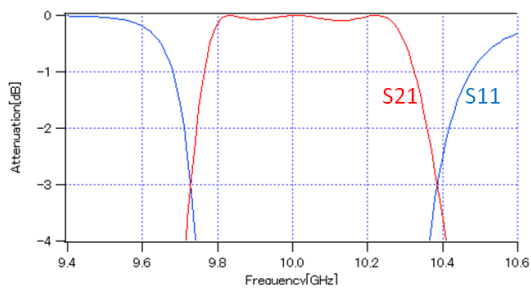


図4 通過域特性 (折り曲げ窓数3, 柱数4)

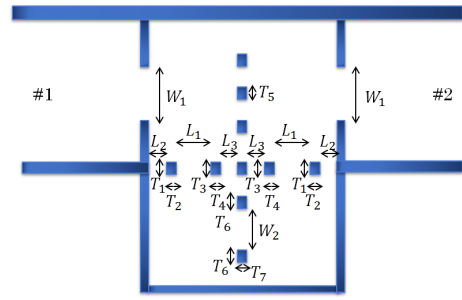


図5 折り曲げ構造 (窓数2, 柱数10)

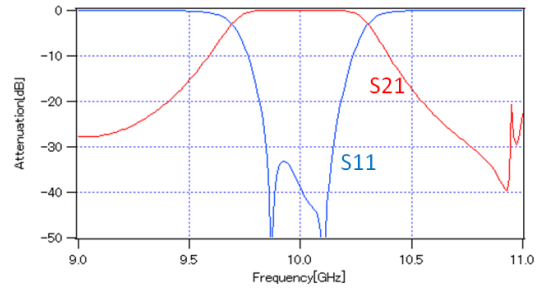


図6 広帯域特性 (折り曲げ窓数2, 柱数10)

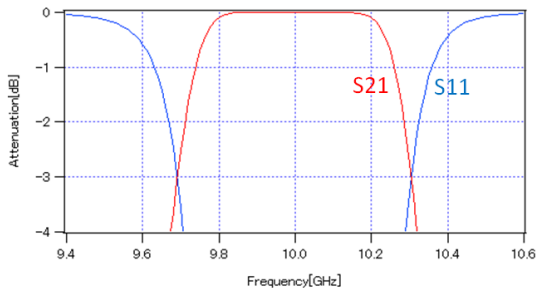


図7 通過域特性 (折り曲げ窓数2, 柱数10)

5.1.2 適用する共振器の構造2

図5で示す方形導波管の中に誘導性窓を2本、誘導性ポストを10本設置した構造の回路とした。対称構造とし、縦幅の距離 W_1, W_2 、横幅の距離 $L_1 \sim L_3$ 、ポスト幅 $T_1 \sim T_4$ を変数として設計を行った。広帯域特性と通過域と特性の結果を図6, 図7に示す。

5.2 まとめ・考察

粒子群最適化を用いて方形導波管窓付共振器とポスト付共振器を組み合わせた回路の窓, 柱の寸法, 位置といった設計要素の最適化を行った。

通過域の評価として, 透過係数が比帯域幅 4[%] の 9.8[GHz]~10.2[GHz] で 0[dB] に近いと良い評価として, 図4より図7の方が 0[dB] に近づける事ができた。阻止域の評価として, 反射係数が阻止域上で 0[dB] に近いと良い評価として, 透過係数を図3では遷移域上で収める事ができなかったが, 図6の結果では遷移域を 4[%] に収める事ができた。窓をポストに変更することにより実現できたと考えられる。

6 むすび

今後の課題としては, 回路形状を変更した回路の設計や他の最適化アルゴリズムによる設計などが挙げられる。回路形状としては, 段数や寸法値の変更であったり, またより複雑な構造などが挙げられる。

最適化アルゴリズムについては, 周波数特性の計算に時間がかかってしまうことと, 局所解が無数に存在していることから高速かつ広い解探索を行うことのできる最適化アルゴリズムの検討を行う。また, 評価関数を変更することで様々な所望特性を満たす回路の設計を行う。その際に, 振幅特性のみの最適化ではなく他の特性を同時に満たすことのできる回路設計などが考えられる。それらとは別に従来の設計方法にない最適化アルゴリズムを用いた新たな設計手法を検討する。

参考文献

- [1] 原 幸平, 山西貴士, 平岡隆晴, 豊嶋久道: 粒子群最適化アルゴリズムを用いた方形導波管誘導性窓付共振器の設計, 情報処理学会, 第75回全国大会, 1M-5, (2013)
- [2] 原 幸平, 平岡隆晴, 豊嶋久道: 方形導波管共振器型帯域通過フィルタの粒子群最適化アルゴリズムを用いた設計, 信学技報, vol. 113, no. 307, MW2013135, pp.23-28, (2013)